

Tinjauan Literatur Pengaruh pH dan Suhu Terhadap Korosi Baja dan Anti-Fouling Kapal

Eka Cahya Muliawati [1], Nely Handayani Kusuma Hadi [2*], Chatarina Rista Widya Diana [3], Wahyu Santoso [4], Alimin [5], Amirullah [6], Muchlis Dermawan [7]

[1]Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia.

[2, 3, 4, 5, 6, 7]Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Indonesia.

Indonesia Email: ekacahya@itats.ac.id[1], nely190601@gmail.com[2], chatarinajoyce@gmail.com[3], wahyu.santoso16@gmail.com[4], aliminkhansa@gmail.com[5], amirullahirul906@gmail.com[6], ucisdermawan07@gmail.com[7]

Abstrak

Sektor maritim Indonesia sangat bergantung pada kapal berbahan struktur utama baja yang rentan mengalami korosi akibat interaksi dengan air laut. Laju korosi ini dipercepat secara signifikan oleh faktor lingkungan mikro seperti fluktuasi suhu dan tingkat keasaman atau pH. Penelitian kualitatif ini menggunakan metode studi literatur untuk menganalisis data sekunder dari 15 jurnal ilmiah terpercaya terbitan tahun 2021 hingga 2026. Hasil kajian menunjukkan bahwa kondisi asam (pH < 7) dan kenaikan suhu air laut terbukti secara simultan mengakselerasi laju korosi pada material baja lambung kapal. Sebagai solusi pertahanan utama, teknologi cat *anti-fouling* berfungsi efektif sebagai pembatas fisik ganda untuk memutus kontak langsung antara logam dengan elektrolit sekaligus mencegah penempelan mikroorganisme laut. Berdasarkan matriks komparatif, material polyurethane (spray) menunjukkan efisiensi perlindungan paling optimal pada material baja dengan nilai rata-rata laju korosi terendah sebesar 2,5402 x 10^{-5} mmpy. Selain itu, pemanfaatan bahan alami seperti kulit jeruk manis dan kulit pisang kepok berpotensi besar sebagai alternatif *coating* yang ramah lingkungan dengan nilai rata-rata laju korosi 0.010 s/d 0.045 mmpy. Meskipun pengaplikasian coating menghadapi tantangan berupa biaya tinggi dan pengaruh cuaca, optimasi lapisan pelindung ini sangat krusial untuk meningkatkan efisiensi operasional kapal.

Kata Kunci: pH; Suhu; Laju Korosi; Baja; *Anti-fouling*.

ABSTRACT

Indonesia's maritime sector relies heavily on ships with steel-hulled structures that are susceptible to corrosion due to interaction with seawater. This corrosion rate is significantly accelerated by microenvironmental factors such as temperature fluctuations and acidity levels (pH). This qualitative study employs a literature review method to analyze secondary data from 15 reputable scientific journals published between 2021 and 2026. The results of the study show that acidic conditions (pH < 7) and rising seawater temperatures have been proven to simultaneously accelerate the corrosion rate of steel ship hull materials. As a primary protective solution, anti-fouling paint technology functions effectively as a dual physical barrier to break direct contact between the metal and the electrolyte while preventing the attachment of marine microorganisms. Based on a comparative matrix, spray-applied polyurethane demonstrated the most optimal protective efficiency on steel, with the lowest average corrosion rate of 2.5402 × 10^{-5} mmpy. In addition, the use of natural materials such as sweet orange peels and kepok banana peels has great potential as environmentally friendly coating alternatives, with average corrosion rates ranging from 0.010 to 0.045 mmpy. Although the application of these coatings faces challenges such as high costs and weather-related factors, optimizing these protective coatings is crucial for improving ship operational efficiency.

Keywords: *pH; Temperature; Corrosion Rate; Steel; Anti-fouling.*

1. PENDAHULUAN

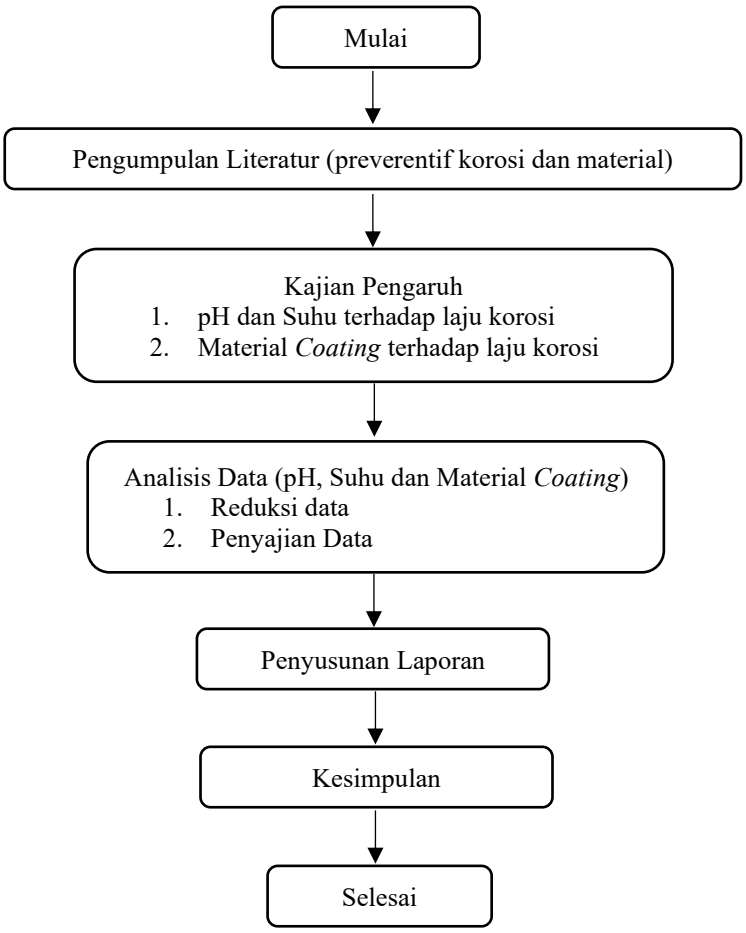
Sektor maritim merupakan penopang besar perekonomian Indonesia yang mengandalkan kapal sebagai transportasi utama. (Muliawati et al., 2025). Baja digunakan sebagai material struktur utama kapal karena kekuatannya. Namun, baja sangat rentan mengalami korosi akibat reaksi elektrokimia yang terjadi secara terus-menerus dengan lingkungan air laut. Proses korosi ini utamanya dipercepat oleh dua faktor lingkungan mikro, yaitu tingkat keasaman (pH) dan fluktuasi suhu air laut. Korosi dalam jangka panjang akan mengakibatkan pengurangan ketebalan pelat baja lambung kapal. Bagi pemilik dan kru kapal, penipisan pelat ini sangat berbahaya karena berisiko memicu kebocoran fatal hingga kapal tenggelam. Selain itu, fenomena ini menimbulkan kerugian ekonomi masif akibat pembengkakan biaya perbaikan (*docking*). Sebagai langkah pencegahan, industri perkapalan menggunakan teknologi cat anti-fouling. Pelapisan ini berfungsi sebagai pembatas fisik (*physical barrier*) yang efektif memutus interaksi langsung antara baja dengan air laut sehingga laju korosi dapat dihambat (Nelvi Helmania Putri et al., 2024).

Pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh dari pH dan suhu terhadap laju korosi pada material baja serta mengkaji penggunaan *anti-fouling* dalam mengatasi permasalahan korosi material baja di lingkungan air (Yu et al., 2026). Meskipun efektivitas *anti-fouling* telah banyak diteliti, sebagian besar studi terdahulu cenderung menguji kinerja pelapis ini pada kondisi lingkungan yang konstan atau ideal. Terdapat keterbatasan data komprehensif mengenai bagaimana kombinasi ekstrem dari fluktuasi pH rendah (asam) dan kenaikan suhu air laut secara simultan dapat mendegradasi ketahanan lapisan *anti-fouling* itu sendiri dalam melindungi baja. Celah atau gap inilah yang mendasari urgensi penelitian ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam pengaruh simultan pH dan suhu terhadap akselerasi laju korosi baja, serta mengkaji batas efektivitas pelapisan anti-fouling dalam mengatasi kompleksitas permasalahan korosi material maritim di lingkungan perairan yang dinamis.

2. METODE

Penelitian kualitatif ini menggunakan metode studi literatur untuk menganalisis data sekunder dari Google Scholar, Elsevier, Academia, dan Education. Referensi ilmiah yang dikumpulkan berupa artikel jurnal nasional dan internasional (2021–2026) mengenai korelasi pH, suhu, laju korosi baja, dan teknologi *anti-fouling*. Kriteria pemilihan artikel meliputi:

a. Kriteria Inklusi: Artikel yang memuat data pengaruh suhu dan pH pada material baja, serta efektivitas pelapisan *anti-fouling* struktur maritim.
b. Kriteria Eksklusi: Publikasi di luar tahun 2021–2026, pembahasan korosi non-baja (aluminium/komposit), atau metode proteksi non-pelapisan (Mariah, 2021).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Teknik analisis data dilakukan melalui tiga tahapan interaktif, yaitu:

1. Reduksi data (menyeleksi dan memfokuskan artikel yang memenuhi kriteria)
2. Penyajian data (menyusun temuan laju korosi berdasarkan variabel pH dan suhu ke dalam matriks komparatif)
3. Kesimpulan (*verification*).

Peneliti membandingkan secara silang (*cross-check*) hasil temuan, grafik laju korosi, dan kesimpulan dari 15 jurnal berbeda yang menjadi sampel. Melalui pengecekan silang antar-literatur tepercaya ini, subjektivitas peneliti dapat diminimalisasi sehingga data yang disajikan memiliki tingkat validitas dan kredibilitas yang tinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh pH dan suhu pada laju korosi material baja

Laju korosi baja merupakan reaksi kimia antara logam dengan air laut. Fenomena ini dipicu oleh dua faktor utama, yaitu tingkat keasaman (pH) dan variabilitas suhu perairan.

1. Kondisi Asam (pH < 7): Meningkatkan laju korosi karena adanya reaksi reduksi tambahan pada katoda yang mengoksidasi lebih banyak atom logam. Bukaan (*docking*).Sebagai langkah akibat cat yang tergores sangat rentan terhadap kondisi ini.
2. Pengaruh Suhu: Memengaruhi kinetika korosi, tingkat konsentrasi oksigen, serta proses difusi pada permukaan air laut. Perbedaan suhu ini terjadi karena sebagian struktur kapal terendam langsung di dalam air laut (Royani, 2021).

Secara kimia kondisi terjadinya sebuah korosi jika, dirumuskan melalui persamaan kimia pada Persamaan (1), (2), (3) dan (4). Ketika besi (Fe) bereaksi dengan oksigen (O_2) dan air (H_2O) yang mengandung garam maka, akan terjadi reaksi anoda dan katoda.

a. Reaksi anoda yaitu saat besi mulai berkarat.
   Persamaan kimia sebagai berikut:
   $$2Fe \rightarrow 2Fe^{2+} + 4e^{-} \quad (1)$$
b. Reaksi katoda ketika oksigen bereaksi dengan air
   Persamaan kimia sebagai berikut:
   $$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-} \quad (2)$$
c. Reaksi pembentukan karat yaitu ion besi (Fe^{2+}) dan ion hidroksida (OH^{-})
   Persamaan kimia sebagai berikut:
   $$2Fe^{2+} + 4OH^{-} \rightarrow 2Fe(OH)_2 \quad (3)$$

Senyawa yang mengalami reaksi oksidasi di udara dan terjadi pembentukan karat dengan rumus persamaan kimia sebagai berikut:

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Fe_2O_3 . xH_2O \quad (4)$$

Catatan: x merupakan jumlah molekul air karena pada setiap karat memiliki jumlah molekul air yang berbeda.

Tabel 1. Hasil Kajian Pengaruh pH dan Suhu Terhadap Laju Korosi Material Baja

No	Judul Artikel Ilmiah	Nilai pH	Nilai Suhu	Nilai Laju Korosi	Sumber
1	Analisis Laju Korosi Pada Baja Astm A36 Dengan Variasi Temperatur Dan Waktu Perendaman Dalam Aliran Air Laut	-	35^0C	41,3223 mmpy	(Marthiana et al., 2024)
2	Ketahanan Terhadap Retak-Tegangan-Korosi	-	50^0C	40%	(Darmadi

No	Judul Artikel Ilmiah	Nilai pH	Nilai Suhu	Nilai Laju Korosi	Sumber
	Sambungan Las Dissimilar Baja ASTM A36 Dengan Baja Stainless 316L Pada Berbagai Variasi Suhu				et al., 2025)
3	Pengaruh Suhu Terhadap Laju Korosi Baja Karbon Rendah Dalam Media Air Laut	-	50^0C	14,53 mpy	(Royani, 2021)
4	Studi Korosi Plat Baja Material Kapal Terhadap Salinitas Dan Derajat Keasaman (Ph) Di Pelabuhan Pengasinan Pertamina Jakarta	6,7	-	0,537 mpy	(Mariah, 2021)
5	Analisis Pengaruh Komposisi Garam Terhadap Laju Korosi Pada Baja Hss	7,9	-	0,164 mpy	(Jago et al., 2024)
6	Pengaruh Suhu Pada Inhibitor Daun Pandan Terhadap Laju Korosi Pada Baja SS-304 Dalam Larutan Asam HCL 0,1M	-	50^0C	0,2730 mpy	(Laras Andria Wardani et al., 2021)
7	Analisa Pengaruh Metode Hot Dip Galvanizing Dengan Variasi Temperatur Dan Waktu Pencelupan Terhadap Laju Korosi Pipa Air Laut Kapal Material Baja AISI 1020	-	480^0C	1,81462 mmpy	(Santosa et al., 2022)
8	Pengaruh Temperatur Terhadap Kinerja Anoda Tumbal Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja Aisi 4340	-	70^0C	1,9655 mpy	(Salsabillah et al., 2022)
9	Pengaruh Pelapisan Oli,Minyak bimoli dan Resin Terhadap Laju Korosi Baja St 41 Pada Lingkungan Air Laut,Air Sumur Dan H2SO4	H_2SO_4	-	609,3538 mpy	(Nafi & Nafi, 2023)
10	Efek Perlakuan Pack Carburizing Dan Media Korosif Pada Baja AISI 1045 Terhadap Laju Korosi	-	750^0C	4,4072 mpy	(Suarsana et al., 2022)
11	Kinerja Anoda Tumbal Al Dan Zn Dalam Mengendalikan Laju Korosi Baja Astm A36 Di Lingkungan Nacl 3,5%	-	70^0C	2,683 mpy	(Utami et al., 2023)

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 1, menunjukkan bahwa pH dan suhu merupakan faktor utama peningkatan laju korosi baja di lingkungan air laut yang dipicu oleh kondisi asam, salinitas tinggi, dan ion klorida. Kerusakan struktural ini menimbulkan kerugian ekonomi, sehingga pelapisan cat anti-fouling diperlukan sebagai pembatas fisik untuk memutus kontak logam dengan elektrolit (Royani, 2021). Kajian ini memperkuat teori bahwa kondisi lingkungan laut sangat memengaruhi korosi baja maritim. Kenaikan suhu dan penurunan pH terbukti mempercepat kerusakan pada permukaan logam. Namun, penggunaan lapisan anti-fouling menjadi solusi pertahanan yang sangat penting. Lapisan ini bekerja ganda, yaitu mencegah

organisme menempel sekaligus menahan cairan berbahaya agar tidak menembus logam. Kesimpulan ini mendukung penelitian-penelitian sebelumnya dan membuktikan bahwa perlindungan permukaan logam tetap menjadi cara terbaik untuk menghadapi perubahan lingkungan laut yang dinamis.

3.2 Penggunaan Anti-fouling sebagai Proteksi Pertama Untuk Menghambat Laju Korosi pada Material Baja

Metode anti-fouling mengendalikan korosi baja melalui reaksi hidrolisis dan pelepasan biosida secara terkontrol saat bersentuhan dengan air laut. Fungsi utamanya adalah menjadi pembatas fisik untuk menghambat korosi. Perlindungan optimal dicapai melalui sistem pelapisan tiga lapis:

a. Lapisan dasar: Cat anti-karat (epoxy atau zinc-rich) langsung pada permukaan baja. Lapisan antara: Penghubung atau perekat cat dasar dengan cat *anti-fouling*.
b. Lapisan atas: Cat *anti-fouling* terluar untuk mencegah penempelan mikroorganisme seperti tritip dan alga (Budiyanto & Yulianto, 2022):

Pada reaksi kimia pelepasan *anti-fouling* terdapat 3 proses dapat dilihat pada persamaan nomor 5 dan 6. Cat *anti-fouling* atau disebut dengan *polimer* memiliki kandungan aktif pembunuh mikroba (tembaga oksida atau seng omadine). Prosesnya adalah sebagai berikut:

a. Reaksi hidrolisis air laut

   Ketika air (H_2O) memecah struktur *polimer* sehingga *polimer* akan larut. Persamaan (5) rumus kimia sebagai berikut:

   $$Polimer - Si - R + H_2O \rightarrow Polimer - OH + R - Si - OH \qquad (5)$$

b. Pelepasan biosida

   Ketika *polimer* sudah terhidrolisis maka, senyawa tembaga atau biosida akan dilepaskan perlahan di dalam air laut. Persamaan reaksi larutan tembaga oksida di dalam air laut (menjadi ion tembaga yang dapat membunuh biota). Persamaan (6) kimia sebagai berikut:

   $$Cu_2O_{(padat)} + H_2O + 2H^+ \rightarrow 2Cu^{2+} + 2OH^- \qquad (6)$$

c. Mekanisme proteksi

   Ion tembaga (Cu^{2+}) dan biosida berfungsi sebagai lapisan cat luar untuk mengganggu produksi energi organisme laut sehingga jika ada mikroorganisme laut yang ingin menempel pada permukaan baja akan kehilangan energi dan jatuh ke dasar laut. Proses ini dapat menjaga permukaan lambung kapal tetap bersih dan terbebas dari *fouling*.

Namun, pelepasan ini bersifat konstan sehingga lapisan cat perlahan akan menipis seiring kapal berjalan atau beroperasi (Laftah & Wan Abdul Rahman, 2025).

3.3 Laju Korosi

Korosi logam di lingkungan air merupakan proses elektrokimia yang melibatkan reaksi pelepasan dan penerimaan elektron hingga mencapai kesetimbangan dinamis. Kecepatan kerusakan material ini diukur menggunakan satuan mils per year (mpy) atau milimeter per tahun (mm/th). Berdasarkan standar, nilai ketahanan korosi material umumnya berkisar antara 1–200 mpy (Alfattah & Arwati, 2022). Pada tabel 2 pemilihan material yang cocok digunakan untuk pembuatan kapal yaitu stainless steel karena memiliki nilai rata – rata laju korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan material lain yaitu 0,010 – 0,035 mm/tahun.

Tabel 2. Perbandingan Jenis Material dengan Laju Korosi

Jenis Material	Nilai Rata – rata Laju Korosi	Karakter Material	Referensi
Baja (*Steel*)	0,105 – 0,25 mm/tahun	Sangat rentan terhadap serangan korosi merata (*uniform*) dan korosi sumuran akibat kandungan ion klorida pada air laut.	(Pattireuw et al., 2025)
Aluminium	0 - 0,027 mm/tahun	Aluminium membentuk lapisan oksida pelindung, tetapi mudah terdegradasi dalam kondisi lingkungan laut tertentu karena nilai pH dan salinitas.	(Paramarta et al., 2024)
Tembaga (*Copper*)	0 - 0,015 mm/tahun	Tembaga sangat cepat bereaksi untuk membentuk lapisan pelindung (*protective layer*) saat pertama kali dibasahi air laut.	(Gan et al., 2022)
Stainless Steel	0,010 – 0,035 mm/tahun	Memiliki ketahanan yang sangat baik berkat lapisan pasif Chromium. Namun, air asin dapat memicu korosi celah (*crevice corrosion*) dan korosi sumuran (*pitting corrosion*).	(Alfattah & Arwati, 2022)

Tiga faktor utama memengaruhi laju korosi menurut Agustina (2026):

a. Material: Komposisi kimia logam (seperti karbon dan unsur paduan) memengaruhi pembentukan film pasif dan kelarutan ion logam.
b. Suhu: Temperatur tinggi meningkatkan energi kinetik partikel, mempercepat reaksi elektrokimia dengan zat pengoksidasi, serta merusak stabilitas lapisan pelindung. Suhu rendah memperlambat korosi.

c. pH: Kondisi asam (pH rendah) meningkatkan ion hidrogen H^+, mempercepat reaksi reduksi, dan memicu pembentukan karat. Sebaliknya, pH netral hingga basa memperlambat korosi karena terbentuknya lapisan oksida pelindung. (Agustina, 2026).

3.4 Tipe Coating

Berdasarkan *Paint and Coating Testing Manual*, tiga pelapis industri utama memiliki keunggulan berbeda: epoxy unggul dalam adhesi, ketahanan korosi, dan kimia untuk lingkungan ekstrem seperti kilang dan laut. Alkyd menawarkan fleksibilitas dan kekerasan tinggi, cocok untuk substrat logam, kayu, serta komposit. Sementara itu, polyurethane berkinerja tinggi dengan ketahanan abrasi, pelarut, dan cuaca yang sangat baik. Masing-masing material ini dipilih berdasarkan kebutuhan perlindungan mekanis dan ketahanan jangka panjang yang spesifik (Budiarto et al., 2024). Tabel 3 menjelaskan jenis material dan *coating* pada nilai laju korosi.

Tabel 3. Jenis Material dan *Coating* Pada Nilai Laju Korosi

Jenis Material	Jenis *Coating*	Nilai Rata – rata Laju Korosi	Waktu Pengujian	Referensi
Baja (*Steel*)	Epoxy + TBP Composite	1,800 x 10^{-4} mmpy	181 hari	(Fang et al., 2025)
	Epoxy (Campuran / Spesifik)	2,600 x 10^{-3} mmpy	30 hari	(Agustina, 2026)
	Epoxy + Polyaniline (EPM)	2,1000 x 10^{-4} mmpy	28 hari	(Laftah & Wan Abdul Rahman, 2025)
	Alkyd	3,40 – 5,10 mpy	720 jam	(Arrosyid et al., 2025)
	Polyurethane (Spray)	2,5402 x 10^{-5} mmpy	24 Jam	(Pratikno et al., 2021)
Aluminium	Alkyd	2,55 – 3,80 mpy	720 jam	(Arrosyid et al., 2025)
	Polyurethane	0,005 mm/y	720 jam	(Arrosyid et al., 2025)
	Polyurethane	1,50 x 10^{-3} mmpy	168 jam	(Moshkriz et al., 2025)
	Polyurethane	2,65 x 10^{-3} mmpy	600 jam	(Roy & Ghosh, 2025)
Tembaga (*Copper*)	Epoxy	0,021 mpy	30 hari	(Alkaron & Reshack, 2022)
	Epoxy + CAPA-SiC	2,6 x 10^{-3} mpy	30 hari	(Bargout et al., 2024)
	polyurethane	0,002 – 0,01 mpy	30 hari	(Arrosyid et al., 2025)
Stainless Steel	Epoxy	0,21 – 0,55 mm/y	48 jam	(Wibisono & Rasyid, 2025)
	Epoxy + Silika 80:20	0,0114 – 0,0530 mm/y	7 Hari	(Silahooy et al., 2025)

Jenis Material	Jenis *Coating*	Nilai Rata – rata Laju Korosi	Waktu Pengujian	Referensi
	Alkyd	0,02 – 1,25 mm/y	365 hari	(Umartono & Setiawan, 2020)
	polyurethane	0,45 – 0,72 mm/y	48 jam	(Wibisono & Rasyid, 2025)

3.5 Tipe Coating Memiliki Potensi Pengaplikasian Pada Industri Maritim

Berdasarkan Tabel 3, efektivitas jenis coating pada berbagai material pelayaran ditentukan oleh nilai laju korosi terendah:

a. Baja: Polyurethane (*Spray*) paling efektif dengan laju korosi terendah 2,5402 x 10^{-5} mmpy (24 jam).
b. Aluminium: Polyurethane memberikan stabilitas terbaik dengan nilai 1,50 x 10^{-3} mmpy (168 jam).
c. Tembaga: Polyurethane atau Epoxy + CAPA-SiC berkinerja optimal pada 0,002 – 0,01 mpy (30 hari).
d. Stainless Steel: Campuran Epoxy + Silika 80:20 memberi perlindungan paling optimal sebesar 0,0114 – 0,0530 mm/y (7 hari).Secara umum, teknologi polyurethane mendominasi keunggulan proteksi maritim untuk sebagian besar jenis logam..

3.6 Efisiensi Penggunaan Coating Aplikasi Industri Maritim

Tabel 4. Perbandingan Penggunaan *Coating* Pada Material Logam

Jenis Material	Jenis *Coating*	Nilai Rata – rata Laju Korosi (mmpy)	Waktu Percobaan (jam)
Baja (*Steel*)	*polyurethane*	0,000025402	24
Aluminium	*polyurethane*	0,0015	168
Tembaga (*Copper*)	*polyurethane*	0,0254	720
Stainless Steel	Epoxy + Silika 80:20	0,0013462	168

Keterangan: Data sudah disamakan satuan (mpy konversi ke mmpy di kali 0,0254).

Tabel 5. Perbandingan Penggunaan Coating Pada Material Logam

Jenis Material	Jenis *Coating*	Nilai Rata – rata Laju Korosi (mmpy)	Waktu Percobaan (jam)
Baja (*Steel*)	*polyurethane*	0,000025402	24
Aluminium	*polyurethane*	0,000214286	24
Tembaga (*Copper*)	*polyurethane*	0,000846667	24
Stainless Steel	Epoxy + Silika 80:20	0,000192314	24

Keterangan: Data sudah disamakan jumlah jam untuk membandingkan laju korosi.

Tebel 4 dan 5 merupakan hasil perbandingan antara nilai rata – rata laju korosi pada beberapa material dengan *coating* yang berbeda, dari data yang sudah didapat jenis material yang memiliki laju korosi paling kecil adalah material baja dan *stainless steel*. Dengan demikian material yang memiliki potensi digunakan pada industri maritim yaitu baja dan *stainless steel*. Inovasi lebih lanjut dalam penggunaan *coating* material baja dan *stainless steel* dapat meningkatkan efisiensi pengoperasian kapal serta mengurangi biaya perbaikan konstruksi utama kapal.

3.7 Penggunaan *Coating* Dengan Bahan Alami

Tabel 6. Perbandingan Penggunaan *Coating* pada Material Logam

Jenis Material	Target	Media Korosif	Nilai Korosi Tanpa *Coating* (mmpy)	Nilai Korosi Dengan *Coating* Optimal (mmpy)	Waktu Percobaan / Durasi Perendaman	Referensi
Kulit Jeruk Madu	Baja Karbon	Larutan HCl	± 1.500 - 3.000	0.150 - 0.350	24-72 Jam	(Hidayatullah, 2025)
Daun Pepaya	Baja	Larutan Asam / Air Laut	± 0.850 - 1.200	0.040 -0.120	48-96 Jam	(Syah et al., 2025)
Kunyit (*Curcuma longa*)	Baja Ringan	Larutan HCl	± 2.500 - 4.000	0.250 - 0.450	24-48 Jam	(Sajida et al., 2025)
***Mikania micrantha* (Rambusa)**	Baja Karbon	Asam Fosfat	± 1.800 - 2.500	0.180 - 0.300	1-7 Hari	(Du et al., 2025)
Eupatorium adenophora	Baja Karbon	Asam Fosfat	± 1.800 - 2.500	0.120 - 0.280	1-7 Hari	(Du et al., 2025)
Kulit Pisang Kepok	Baja API 5L	Larutan NaCl	± 0.350 - 0.600	0.015 - 0.050	14-28 Hari	(Akbar et al., 2021)
Daun Rambutan	Baja API 5L	Larutan NaCl	± 0.350 - 0.600	0.020 -0.065	14-28 Hari	(Akbar et al., 2021)
Kulit Jeruk Manis	Baja API 5L	Larutan NaCl	± 0.350 - 0.600	0.010 - 0.045	14-28 Hari	(Akbar et al., 2021)

Perkembangan teknologi setiap tahun semakin meningkat begitu juga dengan pengembangan *coating* pada Tabel 6. Beberapa studi literatur menjelaskan bahwa penggunaan material alami menjadi solusi terbaik yang ramah lingkungan. Aplikasi *coating* pada industri maritim utamanya pada transportasi laut yaitu kapal sangat dibutuhkan karena jika kapal terlalu banyak hambatan akan mempengaruhi laju kapal serta konsumsi bahan bakar yang akan berdampak pada nilai ekonomi. Adanya *coating* bahan alami diharapkan menjadi material alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan fungsi serta dapat menekan laju korosi pada

konstruksi utama kapal. Dengan demikian lambung terlindungi serta biota laut dapat terhindar dari bahan kimia serta kapal dapat beroperasi secara efisien dan optimal (Pratikno et al., 2021).

3.8 Hambatan Penggunaan Serta Pengaplikasian Coating Pada Kapal

Penggunaan serta pengaplikasian *coating* pada konstruksi kapal terdapat tantangan baik secara cara aplikator, nilai ekonomi dan lingkungan. Secara umum *coating* digunakan sebagai perlindungan pertama sebagai pembatas antara logam dengan air laut. Namun penggunaan *coating* memerlukan biaya tinggi untuk melapisi seluruh konstruksi kapal, hal ini dilakukan untuk meminimalisir percepatan laju korosi karena air laut, udara maupun kelembapan udara. Kemudian ketika aplikasi *coating* tergantung pada ketebalan karena semakin tebal maka jangka waktu semakin lama namun berbanding lurus dengan biaya yang tinggi. Tidak hanya itu faktor cuaca juga dapat mempengaruhi efektivitas kerja *coating*. Untuk mengatasi tantangan ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan berapa *layer* yang dibutuhkan agar *coating* bekerja secara optimal dan dapat menekan biaya operasional.

4. PENUTUP

Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil studi literatur, dapat disimpulkan bahwa fluktuasi nilai pH dan variabilitas suhu air laut memiliki pengaruh simultan yang signifikan dalam mempercepat laju korosi pada material baja maritim. Kondisi lingkungan perairan yang asam (pH < 7) meningkatkan konsentrasi ion hidrogen sehingga merangsang reaksi reduksi tambahan yang mempercepat pembentukan karat. Sementara itu, peningkatan suhu air laut menaikkan energi kinetik partikel yang memicu percepatan kinetika reaksi elektrokimia pada permukaan logam. Sebagai langkah proteksi utama, penggunaan teknologi coating anti-fouling terbukti efektif menjadi pembatas fisik yang memutus interaksi langsung antara baja dengan air laut serta mencegah penempelan biota laut. Melalui perbandingan komparatif berbagai jenis pelapis, teknologi polyurethane (spray) mendominasi keunggulan proteksi maritim untuk material baja dengan menghasilkan nilai rata-rata laju korosi paling minimum, yaitu sebesar 2,5402 x 10^{-5} mmpy dalam pengujian 24 jam. Selain pelapis sintetis, inovasi ramah lingkungan menggunakan ekstrak bahan alami seperti kulit jeruk manis, daun pepaya, dan kulit pisang kepok menunjukkan potensi besar untuk menekan laju korosi sekaligus menjaga kelestarian biota laut dari paparan bahan kimia berbahaya. Secara keseluruhan, pemilihan jenis material kapal dan coating yang tepat sangat menentukan efisiensi pengoperasian kapal serta meminimalisasi biaya perawatan struktural lambung kapal akibat degradasi lingkungan. Berdasarkan hasil kajian, disarankan bagi pelaku industri perkapalan untuk memprioritaskan

penggunaan teknologi coating berbasis polyurethane (spray) atau kombinasi epoxy guna memaksimalkan perlindungan lambung kapal di lingkungan laut yang dinamis. Peneliti selanjutnya disarankan untuk melakukan studi eksperimental lebih mendalam mengenai penentuan jumlah lapisan cat dan ketebalan yang optimal agar perlindungan bekerja efektif dengan biaya operasional yang minimal. Selain itu, pengembangan riset mengenai aplikasi inhibitor korosi dari bahan alami perlu diperluas skala pengujiannya di industri maritim nyata agar diperoleh alternatif pelapis yang lebih ekonomis, efisien, dan aman bagi ekosistem perairan.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, D. A. (2026). Pengaruh Variasi Jenis Pelarut Dan Jenis Cat Sebagai Inhibitor Korosi Terhadap Laju Korosi Baja Astm A36. JURITEK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer. https://doi.org/https://doi.org/10.51903/juritek.v6i1.6521

Akbar, Y. A., Ishak, I., Zulnazri, Z., Dewi, R., & Nurlaila, R. (2021). PEMANFAATAN EKSTRAK DAUN RAMBUTAN (Nephelium lappaceum) SEBAGAI INHIBITOR KOROSI PADA PLAT BESI (STEEL) DALAM MEDIA AIR LAUT. Chemical Engineering Journal Storage (CEJS), 1(3), 94–102. https://doi.org/10.29103/cejs.v1i3.5702

Alfattah, M., & Arwati, I. G. A. (2022). Analisis laju korosi logam stainless steel 316L di media air laut menggunakan metode elektrokimia. 1(2). Journal of New Energies and Manufacturing (JONEM). https://doi.org/10.22441/jonem.v1i2.15903

Alkaron, W., & Reshack, Q. (2022). Protection of Copper Alloy Condenser Tubes by Coating. Proceedings of 2nd International Multi-Disciplinary Conference Theme: Integrated Sciences and Technologies, IMDC-IST 2021, 7-9 September 2021, Sakarya, Turkey. Proceedings of 2nd International Multi-Disciplinary Conference Theme: Integrated Sciences and Technologies, IMDC-IST 2021, 7-9 September 2021, Sakarya, Turkey. https://doi.org/10.4108/eai.7-9-2021.2315501

Arrosyid, A. R., Siswosukarto, S., & Setiawan, A. F. (2025). Mekanisme Korosi dan Perlindungannya dengan Lapisan Berbasis Polimer: Review. Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur .https://doi.org/10.30598//ijcr

Bargout, N., Kashyout, A. E.-H. B., Ibrahim, M. A. M., & El Nemr, A. (2024). Development of cellulose acetate poly acrylonitrile (CAPA)–SiC/epoxy coating to mitigate corrosion of copper in chloride containing solutions. Scientific Reports, 14(1), 21024. Scientific Reporst.https://doi.org/10.1038/s41598-024-70166-3

Budiarto, U., Manik, P., & Kusuma, G. A. (2024). ANALISIS PENERAPAN COATING PADA BAJA ASTM A36 DENGAN VARIASI CAT TERHADAP LAJU KOROSI, KEKUATAN ADHESI DAN KETAHANAN IMPACT COATING. Jurnal Rekayasa Mesin, 15(3), 1253–1269. https://doi.org/10.21776/jrm.v15i3.1500

Budiyanto, L., & Yulianto, Y. (2022). Degradasi Lapisan Cat Pelindung Korosi Pada Plat Lambung Kapal Terhadap Aliran Air Laut, Air Tawar, dan Air Payau. Dinamika Bahari, 3(1), 29–35. https://doi.org/10.46484/db.v3i1.302

Darmadi, Djarot, & Utomo, S. (2025). Ketahanan terhadap Retak-Tegangan-Korosi Sambungan Las Dissimilar Baja ASTM A36 dengan Baja Stainless 316L Pada Berbagai Variasi Suhu. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XXII 2024, 179–184. https://doi.org/10.71452/590650

Du, P., Teng, X., Qiang, Y., Deng, S., & Li, X. (2025). Eco-friendly multi-component corrosion inhibitors from natural sources: Theoretical and experimental insights for carbon steel protection in acidic environments. Industrial Crops and Products, 237, 122280. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.122280

Fang, B., Zhang, X., Liu, H., Zhao, F., Li, Y., Zeng, X., Feng, Z., Li, W., & Liu, J. (2025). Improved anti-corrosion performance of epoxy coatings based on pH-sensitive gels loaded with inhibitors. Journal of Materials Research and Technology, 34, 1682–1690. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.12.160

Gan, Y., Chang, Y., Chen, C.-C., Li, M., Gan, J., & Li, J. (2022). Seawater Corrosion of Copper and Its Alloy Coated with Hydrothermal Carbon. Coatings, 12(6), 798. https://www.mdpi.com/journal/coatings. https://doi.org/10.3390/coatings12060798

Hidayatullah, S. (2025). Potensi Inhibitor Alam sebagai Pelindung Korosi pada Permukaan Baja Karbon pada Lingkungan Asam. ISAINTEK: Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi. https://doi.org/https://doi.org/10.55606/isaintek.v8i2.353

Jago, T. A., Tsamroh, D. I., Jumiadi, & Setyawan, P. E. (2024). ANALISIS PENGARUH KOMPOSISI GARAM TERHADAP LAJU KOROSI PADA BAJA HSS. Ring Mechanical Engineering, 4(1), 42–48. https://doi.org/10.33474/rm.v4i1.21748

Laftah, W. A., & Wan Abdul Rahman, W. A. (2025). Polymers for anti-fouling applications: A review. Environmental Science: Advances, 4(6), 824–841. https://doi.org/10.1039/D5VA00034C

Laras Andria Wardani, Widodo, H., Lisa Adhani, Everlita Sabrina, & Amaliah Annisa. (2021). Pengaruh Suhu pada Inhibitor Daun Pandan Terhadap Laju Korosi pada Baja SS-304 dalam Larutan Asam HCL 0,1M. Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik, 20(1), 31–41. https://doi.org/10.26874/jt.vol20no1.372

Mariah, Y. (2021). STUDI KOROSI PLAT BAJA MATERIAL KAPAL TERHADAP SALINITAS DAN DERAJAT KEASAMAN (PH) DI PELABUHAN PENGASINAN PERTAMINA JAKARTA. Jurnal Indonesia Sosial Sains. https://doi.org/10.36418/jiss.v2i3.219

Marthiana, Wenny, & Hamdani, Y. (2024). ANALISIS LAJU KOROSI PADA BAJA ASTM A36 DENGAN VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU PERENDAMAN DALAM ALIRAN AIR LAUT. Teknosia, 18(2), 72–78. https://doi.org/10.33369/teknosia.v18i2.33425

Moshkriz, A., Darvishi, R., Barati, A., & Tafazoly, M. (2025). Enhanced anticorrosion waterbased polyurethane coating using Schiff base functionalized MXene. Results in Materials, 26, 100687. https://doi.org/10.1016/j.rinma.2025.100687

Muliawati, E. C., Rianto, A. F. F., Salado, A. D., Firmansach, D. R., Rahmadhan, G., & Widodo, D. P. (2025). Literature Review Inovasi, Analisis Kinerja dan Prospek Sel Bahan Bakar Untuk Aplikasi Maritim di Indonesia. JURNAL TECNOSCIENZA. https://doi.org/10.51158/gkfxss85

Nafi, M., & Nafi, M. (2023). PENGARUH PELAPISAN OLI, MINYAK BIMOLI DAN RESIN TERHADAP LAJU KOROSI BAJA ST 41 PADA LINGKUNGAN AIR LAUT, AIR SUMUR DAN H2SO4. MEKANIKA: Jurnal Teknik Mesin, 9(1), 9. https://doi.org/10.30996/jm.v9i1.9461

Nelvi Helmania Putri, Siska Dwi Febryani, Rabena Aprilla, & Hilfi Pardi. (2024). ANALISIS PENGARUH SIFAT KIMIA AIR LAUT TERHADAP KOROSI LOGAM DAN PENGENDALIANNYA MENGGUNAKAN PROTEKSI KATODIK. Journal of Research and Education Chemistry, 6(1), 34. https://doi.org/10.25299/jrec.2024.vol6(1).17173

Paramarta, B. R., Sehono, S., & Putra, I. R. (2024). Analysis of Corrosion Rate Al 7075 Using Seawater and Rainwater Media Using the K2CRO4. SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 18(2), 113–120. https://doi.org/10.24853/sintek.18.2.113-120

Pattireuw, K. J., Rauf, F. A., & Lumintang, R. (2025). ANALISIS LAJU KOROSI PADA BAJA KARBON DENGAN MENGGUNAKAN AIR LAUT DAN H2SO4. https://doi.org/https://doi.org/10.18196/jmpm.v9i2.29410

Pratikno, H., Pradyptia, I. K., & Ikhwani, H. (2021). Effect Analysis on Coating Methods and Corrosive Media Variations toward Adhesion Strength, Corrosion Rate, and Metallography of ASTM A36 Steel with Polyurethane Coating. International Journal of Offshore and Coastal Engineeing, 5(2), 70. https://doi.org/10.12962/j2580-0914.v4i4.10933

Roy, S., & Ghosh, S. K. (2025). Influence of medium polyurethane coating on mechanical, wear, and corrosion performance of a galvanised steel sheet. Journal of Alloys and Metallurgical Systems, 9, 100174. https://doi.org/10.1016/j.jalmes.2025.100174

Royani, A. (2021). PENGARUH SUHU TERHADAP LAJU KOROSI BAJA KARBON RENDAH DALAM MEDIA AIR LAUT. JURNAL SIMETRIK, 10(2), 344–349. https://doi.org/10.31959/js.v10i2.493

Sajida, G. N., Krista, G. M., Sari, H. K., Taufiqurohim, T., Ferawati, Y. F., & Sihombing, R. P. (2025). Potensi Ekstrak Kunyit sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan untuk Baja Karbon Rendah. Jurnal Teknologi, 25(2). https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30811/teknologi.v25i2.7483

Salsabillah, M. R., Busyra, M. D., & Utami, I. (2022). PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KINERJA ANODA TUMBAL DALAM MENGENDALIKAN LAJU KOROSI BAJA AISI 4340. Jurnal Inovasi Teknik Kimia, 7(2), 23. https://doi.org/10.31942/inteka.v7i2.6653

Santosa, A. W. B., Bungkang, R. B., & Mursid, O. (2022). Analisa Pengaruh Metode Hot Dip Galvanizing Dengan Variasi Temperatur dan Waktu Pencelupan Terhadap Laju Korosi Pipa Air Laut Kapal Material Baja AISI 1020. TEKNIK, 43(2), 202–210. https://doi.org/10.14710/teknik.v43i2.45612

Silahooy, S., Branchiny Imasuly, G., Latuny, W., & Nggolaon, D. (2025). Corrosion Analysis on Stainless Steel (SS304) Using A Coating Method Based On Silica from Natural Sand of Hukurila Village. Jurnal Riset Kimia, 16(2), 59–68. https://doi.org/10.25077/jrk.v16i2.808

Suarsana, I. K., Astika, I. M., & Agus Suryawan, I. G. P. (2022). Efek perlakuan pack carburizing dan media korosif pada baja AISI 1045 terhadap laju korosi. Jurnal Energi Dan Manufaktur, 14(2), 37. https://doi.org/10.24843/JEM.2021.v14.i02.p01

Syah, Moch. T. R., Kosjoko, K., Mufarida, N. A., & Nurhalim, N. (2025). Efektivitas Inhibitor Organik terhadap Laju Korosi pada Plat Baja ST 40. Jurnal Penelitian Inovatif, 5(3), 2585–2594. https://doi.org/10.54082/jupin.1801

Umartono, A. S., & Setiawan, D. (2020). Analisa Laju Korosi Material Stainless Steel Grade SS304 dan Alloy UNS N08020 Terhadap Asam Sulfat dan Natrium Hidroksida. 09. https://doi.org/10.5281/zenodo.5225326

Utami, I., Asrori, N. M. F., & Natania, K. (2023). KINERJA ANODA TUMBAL Al DAN Zn DALAM MENGENDALIKAN LAJU KOROSI BAJA ASTM A36 DI LINGKUNGAN NaCl 3,5%. Jurnal Teknik Kimia, 18(1), 1–6. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v18i1.4117

Wibisono, M. A. P., & Rasyid, A. H. A. (2025). ANALISIS PENGARUH BAHAN COATING PADA MATERIAL STAINLESS STEEL 316L DALAM LARUTAN H2SO4 TERHADAP LAJU KOROSI. 14. JTM. https://doi.org/https://doi.org/10.26740/jtm.v14n04.p199-204

Yu, J.-L., Hu, G.-F., Zhou, J.-P., Liang, H.-B., Zhao, C.-H., & Xiao, H.-P. (2026). Preparation and Performance of a Photocurable Degradable Waterborne Boron-Containing Polyurethane Acrylate Anti-Fouling Coating. Coatings, 16(3), 393. https://doi.org/10.3390/coatings16030393